



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Patentschrift
10 DE 199 13 612 C 1

51 Int. Cl.⁶:
H 01 L 23/544
H 01 L 21/306

21 Aktenzeichen: 199 13 612.2-33
22 Anmeldetag: 25. 3. 99
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 2. 12. 99

DE 199 13 612 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

66 Innere Priorität:
198 57 742. 7 15. 12. 98

73 Patentinhaber:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

74 Vertreter:
Gagel, R., Dipl.-Phys.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,
81241 München

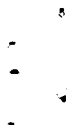
72 Erfinder:
Neumeier, Karl, Dipl.-Ing., 82008 Unterhaching, DE;
Bollmann, Dieter, Dipl.-Phys., 81475 München, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 195 43 893 C1
DE 37 43 080 A1

54 Verfahren zur Erzeugung von Justagestrukturen in Halbleitersubstraten

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Justagestrukturen in Halbleitersubstraten bei der Herstellung von Bauelementen, insbesondere von mikromechanischen Systemen mit integrierter Halbleiterelektronik. Bei dem Verfahren wird eine erste Schicht auf einem ersten Substrat zur Bildung von ersten Bereichen strukturiert, die für die Funktion der Bauelemente erforderlich sind. Weiterhin werden in der ersten Schicht zweite Bereiche gebildet, die die Justagestrukturen darstellen. Die zweiten Bereiche weisen einen Brechungsindex auf, der sich vom Brechungsindex angrenzender Bereiche unterscheidet. Anschließend wird das erste Substrat mit einem zweiten Substrat verbunden, so daß die erste Schicht zwischen den beiden Substraten liegt. Danach wird entweder das erste oder das zweite Substrat bis auf eine Restdicke gedünnt. Die Substratschicht mit dieser Restdicke bildet beispielsweise die Membran bei einem Drucksensor. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird keine Schwächung der mechanischen Eigenschaften tragender Schichten hervorgerufen. Das Verfahren kann ohne zusätzliche Prozeßschritte oder aufwendige Ätzverfahren in den Herstellungsprozeß integriert werden.

DE 199 13 612 C 1



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Justagestrukturen in Halbleitersubstraten bei der Herstellung von Bauelementen, insbesondere von mikromechanischen Systemen mit integrierter Halbleiterelektronik. Das erfindungsgemäße Verfahren bietet besondere Vorteile beim Einsatz von Fotolithographie-Techniken bei der Bearbeitung von Siliziumwafern.

Bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen oder von Sensorsystemen mit mikroelektronischen und mikromechanischen Komponenten werden in der Regel mehrere Schichten unterschiedlicher Funktion auf einer Halbleiterscheibe übereinander gebracht und strukturiert. Für die korrekte Funktionsweise des späteren Bauelementes müssen die Strukturen der einzelnen Schichten eine vorgegebene Lage zu den jeweils darunterliegenden Strukturen aufweisen. Die Strukturierung der Schichten erfolgt in der Regel mittels einer Lithographie-Technik, bei der die eingesetzten Belichtungsgeräte, wie beispielsweise Stepper oder Kontaktbelichter, mit den entsprechenden Masken exakt relativ zur zu belichtenden Schicht bzw. bereits vorhandenen Struktur positioniert werden müssen. Die Positionierung erfolgt mit Hilfe von Justagemarken. Die Erzeugung dieser Justagemarken oder -strukturen bildet den Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet des erfindungsgemäßen Verfahrens betrifft die Herstellung von mikroelektronisch integrierten Sensoren oder Aktoren. Mikroelektronisch integrierte Sensoren messen einen physikalischen oder chemischen Zustand der Umwelt und verarbeiten ihn zu einem elektrischen Signal. Mikroelektronisch integrierte Aktoren wandeln ein elektrisches Signal in eine mechanische Bewegung oder ein akustisches Signal um.

Als Beispiel sei ein Drucksensor angeführt, bei dem eine Siliziumschicht über einem Hohlraum nach dem Prinzip eines Dosenbarometers als Membran dient. Beispiele für Drucksensoren und deren Herstellung sind aus der DE 37 43 080 A1 bekannt. Ein integrierter Meßwandler erfaßt die Bewegung oder den Biegezustand der Membran und stellt ein entsprechendes elektrisches Signal bereit. Diese Sensoren, die einen Hohlraum unter einer Halbleiterschicht aufweisen, sind auch für die empfindliche Messung von Temperatur, Strahlung, mechanischer Bewegung (Schwingung, Schall, Beschleunigung und Drehung) sowie der dynamischen oder chemischen Eigenschaften (z. B. Fluidität, Viskosität, Durchfluß, pH-Wert, elektrochemisches Potential) des umgebenden Mediums geeignet.

Der Hohlraum unter der Membran kann, wie im Beispiel eines Drucksensors, evakuiert sein oder ein beliebiges Medium, d. h. ein Gas, eine Flüssigkeit oder ein Festkörpermateriale enthalten, soweit dieses Medium mit der anzuwendenden Herstellungstechnologie, insbesondere mit den dabei auftretenden hohen Temperaturen, verträglich ist.

Die Membran besteht in vielen Fällen aus einer monokristallinen Siliziumschicht, weil deren physikalische Eigenschaften sehr gut reproduzierbar und bekannt sind. Die Siliziumschicht kann eine monokristalline oder eine abgeschiedene und rekristallisierte Siliziumschicht sein. Für spezielle Anwendungen kann die Membran auch aus anderen Formen des Siliziums, wie amorphem oder Polysilizium, aus einem anderen Halbleiter, wie Germanium, Galliumarsenid oder andere III-V Halbleiter, oder einem Isolator, wie z. B. Siliziumdioxid, Siliziumnitrid, Tantalexid oder Titanitrid bestehen, soweit diese Stoffe mit der anzuwendenden Technologie verträglich sind.

Der Meßwandler zur Erfassung des Biegezustandes der Membran setzt sich beispielsweise aus einer Anordnung von

piezoresistiven Widerständen zusammen, welche die aus der Durchbiegung resultierende mechanische Spannung in der Silizium-Membran in elektrische Signale umwandeln. Diese Signale können von einer in der gleichen Siliziumschicht hergestellten mikroelektronischen Schaltung verstärkt, verarbeitet, gegenüber Störeinflüssen kompensiert, in analoge oder digitale Form gewandelt und aufbereitet werden. Die Meßwandler können auch aus Dehnungsmeßstreifen, piezoelektrischen, kapazitiven oder chemisch-elektrischen Wandlern bestehen. Die Schaltung und die Meßwandler können je nach Anwendung in einer geeigneten mikroelektronischen Technologie (Bipolar, BICMOS, CMOS usw.) gefertigt werden.

Bei der Herstellung eines derartigen Sensors, der sich aus verschiedenen Schichten bzw. Ebenen zusammensetzt, in CMOS-Technologie wird zunächst die erste Ebene unjustiert belichtet, da mit blanken Siliziumwafern begonnen wird. Das Belichtungsgerät, z. B. ein Stepper oder Kontaktbelichter, orientiert sich hierbei nur grob im Bereich von $\pm 100 \mu\text{m}$ durch mechanischen Anschlag an den Rändern des Wafers. Alle folgenden Ebenen werden direkt oder indirekt mit hoher Genauigkeit nach dieser ersten Ebene justiert. Bei einem Halbleiterprozeß mit Strukturgrößen von $0,8 \mu\text{m}$ muß diese Justage beispielsweise mit einer Genauigkeit von $\pm 0,3 \mu\text{m}$ erfolgen. Um die Genauigkeit des Steppers auch für die Positionierung der Meßwandler relativ zu den Hohlräumen nutzen zu können, müssen während der Belichtung der ersten CMOS-Ebene Justagemarken für den Stepper erkennbar sein, die vorangehend bei der Definition der Hohlräume erzeugt wurden. Ziel des Einsatzes der Justagemarken ist es, die Meßwandler mit der in CMOS-Prozessen üblichen Genauigkeit zu positionieren. Simulationsrechnungen nach der FEM-Methode haben ergeben, daß mit dieser Genauigkeit die Streuung der elektrischen Ausgangssignale kleiner als 2% des Meßwertes bleiben. Die restliche Fertigungsstreuung kann durch eine auf dem Chip integrierte Logik kompensiert werden.

Zur Erzeugung der Hohlräume unter der Membran kann beispielsweise auf einem Wafer eine dünne Oxidschicht abgeschieden werden. Mittels einer Fotolithographie-Technik werden durch Ätzen großflächige Vertiefungen in dieser Oxidschicht erzeugt, die die Hohlräume für die Sensoren festlegen. Anschließend wird ein zweiter Siliziumwafer durch Bonden mit dem ersten Wafer verbunden, so daß an Stelle der Vertiefungen die Hohlräume entstehen. Danach wird der erste Wafer von der Rückseite her gedünnt, so daß eine Oberfläche der Silizium- bzw. SOI-Schicht freiliegt. Der zweite Wafer übernimmt die Rolle als Trägerwafer. Der über dem Hohlraum liegende Teil der Silizium-Schicht wird zur Membran des Sensors. Die freiliegende Oberfläche der Silizium-Schicht wird in der anschließenden Halbleiterfertigung zur Integration der Meßwandler oder weiterer mikroelektronischer Schaltungsteile weiter prozessiert.

Aus der DE 195 43 893 C1 ist ein Verfahren zum Ausrichten von in einem Substrat zu erzeugenden Strukturen bekannt, bei dem zur Justage der CMOS-Ebenen bei dem oben skizzierten Herstellungsverfahren relativ zu den Hohlräumen Justagemarken verwendet werden. Bei diesem Verfahren werden die Justagemarken in die Oberfläche des ersten Wafers als Gräben (sog. Trenches) geätzt und nachfolgend mit einem geeigneten Material aufgefüllt. Die vom Stepper benötigten Justagemarken und Linien werden dabei nachgebildet. Die Gräben erstrecken sich bis zu einer Tiefe in den ersten Wafer, die zumindest der Restdicke des in einem späteren Schritt gedünnten Wafers entspricht, so daß sie die gedünnte Siliziumschicht vollständig durchdringen. Die Marken sind daher nach dem Rückdünnen des Wafers auf der neuen Oberfläche gut sichtbar. Die Anforderungen an die



11

Justierbarkeit sind damit erfüllt.

Ein Nachteil dieses Trench-Verfahrens zur Erzeugung der Justiermarken ist die Notwendigkeit, von zusätzlichen Prozessschritten. Diese Prozessschritte sind einerseits erforderlich, um die größere Tiefe der Gräben im Vergleich zu den Hohlraumstrukturen zu erzeugen. Zum anderen müssen die Gräben zusätzlich mit einem geeigneten Material aufgefüllt werden.

Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens besteht im Erfordernis eines speziellen Trench-Ätzverfahrens, um die Gräben im Siliziumwafer mit einer ausreichenden Flankensteilheit erzeugen zu können. Weiterhin wird eine aufwendige Maskierungsschicht benötigt, welche dem intensiven Plasmaätzen widerstehen muß und danach entfernt wird.

Ein besonderer Nachteil besteht darin, daß das vollständige Durchätzen der SOI-Schicht mit anschließendem Auffüllen eine Schwächung der mechanischen Eigenschaften der Schicht bewirkt und mechanische Spannungen bei nachfolgenden Temperaturschritten erzeugt. Da die Hohlräume und die folgenden CMOS-Ebenen auf eine Hilfsebene justiert werden, wird die resultierende Justagegenauigkeit verschlechtert.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Erzeugung von Justagestrukturen bei der Herstellung von Bauelementen anzugeben, die keine Schwächung der mechanischen Eigenschaften tragender Schichten hervorrufen, und das ohne zusätzliche Prozessschritte oder aufwendige Ätzverfahren in den Herstellungsprozeß integriert werden kann.

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen oder Weiterbildungen des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Erfindung bezieht sich hierbei vorzugsweise auf die Herstellung von Justagestrukturen für die Fotolithographie in Siliziumwafern. Die Strukturen beruhen auf einer lokalen Änderung des Brechungsindex oder der Dämpfung innerhalb oder unterhalb einer dünnen Siliziumschicht, so daß die Topographie der Waferoberfläche nicht verändert oder beeinflusst wird. Die Justagestrukturen sind für ein Belichtungsgerät im roten oder infraroten Licht und insbesondere bei Dunkelfeldbeleuchtung sichtbar.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist zum Beispiel für die Herstellung von mikroelektronisch integrierten Sensoren und Aktoren auf der Grundlage von SOI-Wafern mit vergrabenen Hohlräumen und integrierten elektronischen Auswerteschaltungen in CMOS-Technologie geeignet.

Bei dem Verfahren wird ein erstes Substrat, vorzugsweise ein Wafer, bereitgestellt, auf dem eine erste Schicht ausgebildet ist. Die erste Schicht, beispielsweise eine Oxidschicht, wird zur Bildung von ersten Bereichen strukturiert, die für die Funktion der Bauelemente erforderlich sind. Bei Drucksensoren stellen diese ersten Bereiche Vertiefungen dar, die die Hohlräume der späteren Drucksensoren bilden. Vor, nach oder gleichzeitig mit dieser Strukturierung der ersten Bereiche werden in der ersten Schicht zweite Bereiche gebildet, die die Justagestrukturen darstellen. Diese zweiten Bereiche durchdringen die erste Schicht vollständig. Gegebenenfalls können sie sich bis zu einer gewissen Tiefe in das unter der ersten Schicht liegende erste Substrat erstrecken. Die Tiefe muß jedoch geringer sein als die Dicke des ersten Substrates. Wird das erste Substrat in einem weiteren Schritt von der Rückseite gedünnt, so muß die Tiefe der zweiten Bereiche im ersten Substrat geringer sein als die Dicke des gedünnten ersten Substrates. Die zweiten Bereiche weisen einen Brechungsindex auf, der sich vom Brechungsindex angrenzender Bereiche unterscheidet. Dies kann einerseits dadurch erreicht werden, daß die Bereiche als Vertiefungen ausgebildet werden, die bei den nachfolgenden Schritten ei-

nen evakuierten oder mit einem Gas gefüllten Hohlraum bilden. Die Vertiefungen können jedoch in einem weiteren Schritt auch mit einem Material aufgefüllt werden, das einen anderen Brechungsindex als das umgebende Material aufweist. Vorzugsweise wird hierbei ein Material verwendet, dessen Unterschied im Brechungsindex zum umgebenden Material größer ist als der Brechungsindex-Unterschied zwischen Luft oder Vakuum und dem umgebenden Material. Im Falle einer Siliziumoxidschicht als erster Schicht auf einem Siliziumwafer kann beispielsweise ein Metall wie Wolfram als ein derartiges Material eingesetzt werden. Ein Bereich mit unterschiedlichem Brechungsindex kann natürlich auch durch Implantation von geeigneten Ionen oder Atomen in die erste Schicht erzeugt werden.

Nach dem Erzeugen der ersten und zweiten Bereiche wird das erste Substrat mit einem zweiten Substrat verbunden, so daß die erste Schicht zwischen den beiden Substraten liegt. Geeignete Verbindungstechniken sind dem Fachmann bekannt. Anschließend wird entweder das erste oder das zweite Substrat von der offenliegenden Seite bis auf eine Restdicke gedünnt. Die Substratschicht mit dieser Restdicke bildet beispielsweise die Membran bei einem Drucksensor. Das Dünnen kann in bekannter Weise mittels Schleifen, Polieren, CMP oder Ätzen erfolgen.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem die ersten für die Funktion des Bauelementes erforderlichen Bereiche Vertiefungen in der ersten Schicht darstellen, werden die zweiten Bereiche im gleichen Verfahrensschritt ebenfalls als Vertiefungen in der ersten Schicht erzeugt. Hierdurch können mit dem für die ersten Bereiche erforderlichen Ätzprozeß gleichzeitig auch die Justagestrukturen bereitgestellt werden. Es ist somit kein zusätzlicher Prozessschritt notwendig.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Justage vermeidet die bisher notwendige Modifikation zum Schutz der nach dem Bonden und Dünnen freiliegenden Siliziumoberfläche. Es können daher keine nachteiligen Verunreinigungen des Siliziums auftreten.

Die zum Justieren notwendigen Strukturen, wie Kreuze und Liniengruppen, werden gleichzeitig mit den Funktionsstrukturen des Bauelementes, z. B. den Hohlräumen bei einem Drucksensor, oder in einem zusätzlichen Schritt durch Strukturieren der ersten Schicht erzeugt.

Bei der Herstellung der Justagestrukturen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist die gedünnte Substratschicht über den Justagestrukturen, im Vergleich zu den Schichtbereichen über den als Sensor verwendeten Hohlräumen, steif, so daß der zu messende Effekt durch die Justagestrukturen nicht beeinflusst wird. Es tritt keine Schwächung der mechanischen Eigenschaften der Schicht durch die Justagestrukturen ein.

Falls vom Belichtungsgerät flächige Justagemarken gefertigt werden, kann die Kontur dieser Flächen durch nebeneinander liegende Rillen nachgebildet werden. Die Breite der langgestreckten Rillen liegt vorzugsweise in der Größenordnung der Dicke der ersten Schicht oder darunter. Es sind auch flächige Justagemarken möglich, solange die Steifigkeit der gedünnten Substratschicht nicht beeinträchtigt wird.

Da die Justagemarken zusammen mit den ersten Bereichen durch die gleiche Lithographiemaske belichtet werden, erhöht sich die Genauigkeit der Position der Justagemarken und damit, beispielsweise bei Drucksensoren, die Genauigkeit der Anordnung der mit Hilfe der Justagemarken zu positionierenden Meßwandler zu den Hohlräumen.

Neben der bisher bekannten Nutzung der Infrarotmikroskopie in Transmission kann zur Erkennung der gemäß der Erfindung erzeugten Justagestrukturen auch das Auflicht-



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

verfahren (in Reflexion) genutzt werden. In dünnen Schichten ist das als Wafermaterial in der Regel eingesetzte Silizium für rotes und infrarotes Licht durchlässig. Eine 2–10 µm dicke Siliziumschicht erscheint dem menschlichen Auge im Gegenlicht dunkelbraun. Die bei Drucksensoren verwendeten Hohlräume sind im Mikroskop im (breitbandigen) Aufsicht mit dem Auge nicht erkennbar. Lediglich bei Dunkelfeldbeleuchtung sind die Hohlräume sichtbar. Bei zunehmender Wellenlänge steigt die Transmissivität von Silizium drastisch an. Für die Beleuchtung der Justagemarken ist der Einsatz von Glühlampen, Gasentladungslampen oder Lasern möglich. Durch optische Filter im Strahlengang kann ein schmalbandiger Bereich bei z. B. 800 nm Wellenlänge aus dem Spektralbereich dieser Lampen ausgewählt werden. Als Empfänger wird vorzugsweise eine CCD-Kamera benutzt, die im genannten Bereich noch ausreichend empfindlich ist. Bei einer geeigneten Kombination von Lichtquelle, Filter, Schichtdicke und Kamera lassen sich die Strukturen im Oxid (als erster Schicht) unter der SOI-Schicht deutlich nachweisen.

Weil Silizium z. B. bei 800 nm mit $n = 3,7$ einen sehr hohen Brechungsindex hat, wird ein großer Teil ($R_1 = 33\%$) des einfallenden Lichtes bereits an der Oberfläche reflektiert. Der Absorptionskoeffizient von undotiertem Silizium bei dieser Wellenlänge beträgt etwa $0,1 \mu\text{m}^{-1}$ und sinkt mit steigender Wellenlänge. Wenn das Licht zweimal die Schichtdicke von z. B. 5 µm durchdringen muß, ist seine Intensität auf den 1/e ten Teil gedämpft worden. Beim Austreten vom Silizium an Luft wird das Licht noch einmal um den reflektierten Teil geschwächt. An der unteren Grenzfläche vom Silizium zum Oxid führt der Sprung im Brechungsindex (von $n_{\text{Si}} = 3,7$ auf $n_{\text{Oxid}} = 1,5$) ebenfalls zu einer Reflexion von $R_2 = (n_{\text{Si}} - n_{\text{Oxid}})^2 / (n_{\text{Si}} + n_{\text{Oxid}})^2 = 18\%$. Die insgesamt reflektierte Intensität ist damit $I_{\text{ges}} = (1 - R_1) \cdot (1/e) \cdot R_2 \cdot (1 - R_1) = 3\%$. Da dieses Nutzsignal schwächer als der Reflex an der ersten Oberfläche ist, sollte bevorzugt mit Dunkelfeldbeleuchtung gearbeitet werden.

Um einen ausreichenden Kontrast zu erzeugen, muß eine Struktur im Vergleich zur Umgebung einen deutlichen Unterschied im Brechungsindex oder im Absorptionsindex aufweisen oder die Struktur streut das Licht in nennenswertem Maße aus seiner ursprünglichen Richtung.

Im beschriebenen Verfahren wird der Kontrast durch das Entfernen des Oxides von der unteren Grenzfläche der Siliziumschicht erzeugt. Dann ist die Reflexion am Übergang von Silizium nach Luft bzw. Vakuum größer $R^* = 33\%$. Die insgesamt reflektierte Intensität wird damit $I^*_{\text{ges}} = 5,5\%$. Die Struktur erscheint also heller als die Umgebung. Zusätzlich wirken die Kanten der Strukturen als Streuzentren, welche bei Dunkelfeldbeleuchtung deutlich hell erscheinen.

Als Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Füllung der zur Justage verwendeten Hohlräume mit einem Material möglich, das den Kontrast erhöht. Mit einer Füllung aus Metall, bevorzugt Wolfram, ist eine Steigerung des zweiten Reflexes auf 90% möglich. Diese, wie auch die folgenden Verbesserungen werden allerdings mit einer zusätzlichen Lithographieebene erkauft, da die für den Sensor benutzten Hohlräume nicht gefüllt oder verändert werden dürfen und daher vorher mit Fotolack zu schützen sind.

Eine weitere Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist das Tieferätzen der Hohlräume in die Siliziumschicht hinein, wie beispielsweise in Fig. 3 zu erkennen. Weil das strukturierte Oxid bei dieser Variante als selbstjustierende Maske benutzt wird, tritt kein Verlust an Justagegenauigkeit auf. Der kontraststeigernde Effekt kann durch mehrere Wege erzielt werden.

Die Siliziumschicht kann einerseits durch Ätzen so weit gedünnt werden, daß die Absorption im Material deutlich

geringer wird. Sinnvoll erscheint eine Halbierung der Schichtdicke. Dabei wird auch die im Dunkelfeld sichtbare Streuwirkung der Kanten erhöht. Dies bedeutet, daß bei in der Regel vorgegebener Schichtdicke der Siliziumschicht die Vertiefungen für die Justagestrukturen eine bestimmte Tiefe erreichen müssen.

Auch eine nur geringfügige Ätzung der Siliziumschicht kann einen deutlichen Kontrast hervorrufen, wenn die geätzte Stufe einer Änderung der optischen Weglänge im Silizium von einer halben Wellenlänge des zur Erkennung der Strukturen eingesetzten Zentralwellenlänge entspricht. Dies ist bei Mikroskopen als Phasenkontrastverfahren oder Phasenshifting bekannt. Eine Stufenhöhe von etwa 0,11 µm bewirkt eine auslöschende Interferenz. Die erforderliche Voraussetzung des im wesentlichen monochromatischen Lichtes ist durch den Einsatz eines Infrarotfilters annähernd erfüllt. Durch Verwendung von Polarisationsfiltern kann der Kontrast nach dem Prinzip des Ellipsometers weiter gesteigert werden.

Der gleiche optische Effekt wie bei der Änderung der Dicke der Siliziumschicht bzw. der Tiefe der Justagestrukturen kann durch eine Ionenimplantation in die Siliziumschicht erzielt werden. Die strukturierte Oxidschicht wird hierbei als Maske für die Implantation genutzt. Durch geeignete Wahl der Eindringtiefe und Dosis wird der Brechungsindex des Siliziums in diesem Bereich gerade soweit geändert, daß sich die optische Weglänge um eine halbe Wellenlänge von der unveränderten Umgebung unterscheidet.

Anstelle einer Beleuchtungs-Wellenlänge von 800 nm kann auch eine andere Wellenlänge im Bereich von etwa 750 bis 1000 nm verwendet werden. Die Grenze zu kurzen Wellenlängen ist durch die erhöhte Absorption im Sichtbaren gegeben, zu längeren Wellenlängen durch die Empfindlichkeitskurve der Kamera. Der Absorptionskoeffizient von Silizium sinkt deutlich mit steigender Wellenlänge.

Bei der Wahl anderer Substratmaterialien ist der Fachmann in der Lage, entsprechend andere geeignete Beleuchtungswellenlängen aufzufinden.

Da sich die zur Justage verwendeten Hohlräume nicht in der gleichen Ebene wie die zu belichtenden Strukturen im Fotolack befinden, kann ein eventuell auftretender Parallaxenfehler durch einen lateralen Vorhalt in der Maske ausgeglichen werden.

Die Kontrolle der Lage der bei der Lithographie erzeugten Strukturen relativ zu den Justagemarken kann wie üblich im Mikroskop erfolgen, wenn Dunkelfeldbeleuchtung angewendet wird.

Bei der Herstellung der Silizium-Membran kann auch vorteilhaft SOI-Material (Silicon On Insulator) verwendet werden. Weil bei dem Prozeß des Dünnens eine selektive Ätze an der Siliziumoberfläche stoppt, kann hierbei die Dicke der Membran exakt eingehalten werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird im folgenden an einem Ausführungsbeispiel in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals veranschaulicht. Hierbei zeigen:

Fig. 1–3 schematisch ein Beispiel für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens; und

Fig. 4–6 das Ergebnis von Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Das Ausführungsbeispiel betrifft die Herstellung eines Drucksensors, wie er in der Beschreibungseinleitung erläutert wurde. Ein derartiger Drucksensor besteht aus einem Hohlraum (10) unter einer dünnen Siliziummembran (9), in der Wandlerelemente (11, Fig. 3) zur Erfassung der Durchbiegung der Membran integriert sind.

Bei der Herstellung dieses Sensors wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel zunächst ein SOI-Wafer bereitgestellt, der aus einem Substrat (6), einem vergrabenen Oxid (5) und



1
2
3
4
5

einer dünnen Siliziumschicht (4) be. Auf dem SOI-Wafer wird eine etwa 1 µm dicke Oxidschicht (3) als thermisches Oxid oder Abscheideoxid erzeugt. Anschließend werden mittels einer Fotolithographie und nachfolgendem Ätzen, das als Trockenätzprozeß oder als Naßätzprozeß erfolgen kann, Vertiefungen (1 und 2) in dieser Oxidschicht erzeugt. Die großflächigen Vertiefungen (2) dienen später als Hohlraum für den Sensor, während die kleinen Vertiefungen (1) zur Justage dienen. Die laterale Struktur für die großflächigen Vertiefungen (2) wird daher durch die Funktion bzw. die gewünschten Eigenschaften des Sensors vorgegeben. Die kleinen Vertiefungen (1) werden entsprechend den vom Belichtungsgerät geforderten Geometrien der Justagemarken geformt. In der Regel sind dies linien- oder kreuzförmige Strukturen. Beide Arten von Vertiefungen werden über eine gemeinsame Lithographiemaske erzeugt, so daß sie eine exakte räumliche Beziehung zueinander haben. Die Tiefe der Vertiefungen entspricht bei diesem Beispiel der Dicke der Oxidschicht. In Fig. 1 ist nur ein Ausschnitt aus dem Wafer dargestellt, der einem späteren Drucksensor entspricht.

Anschließend wird, wie in Fig. 2 gezeigt, ein zweiter Siliziumwafer (12) (Bulk-Wafer) durch Bonden mit dem ersten Wafer verbunden (Silicon-fusionbonding). Damit werden die Vertiefungen (1, 2) zu Hohlräumen (8, 10). Danach werden die Trägerschicht (6) und die Oxidschicht (5) des SOI-Wafers mittels Schleifen, Polieren (auch CMP) oder Ätzen von der Rückseite entfernt. Der zweite Wafer (12) übernimmt damit die Rolle als Trägerwafer. Der über dem großflächigen Hohlraum (10) liegende Teil der Siliziumschicht (4) wird zur Membran (9) des Sensors. Die nach dem Entfernen der Trägerschicht (6) und der Oxidschicht (5) freiliegende Oberfläche der Siliziumschicht (4) kann in der folgenden Halbleiterfertigung prozessiert werden, um darin Wandlerelemente (11) wie beispielsweise piezoresistive Widerstände zu erzeugen. Hierbei kann die Position dieser Wandlerelemente relativ zu den großflächigen Hohlräumen (10) mit Hilfe der Justagemarken (8) und einem der oben angeführten optischen Belichtungsverfahren exakt eingehalten werden (siehe Fig. 3).

Die Größe der Vertiefungen richtet sich nach dem geplanten Druckbereich des Sensors in Verbindung mit der Dicke der Siliziumschicht, die als Membran benutzt wird. Die erforderliche Geometrie, d. h. die laterale Form (quadratisch, länglich oder rund) der Hohlräume und die Position der Meßwandler, läßt sich mit den bekannten elastischen Materialeigenschaften von Silizium durch FEM-Simulation (Finite-Elemente-Methode) vorausberechnen und optimieren. Im Anwendungsbeispiel werden bei einer Dicke der Siliziumschicht von 5 µm quadratische Hohlräume von etwa 200 µm Kantenlänge verwendet.

Fig. 4 zeigt das Ergebnis einer Abwandlung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Hierbei werden grundsätzlich die gleichen Verfahrensschritte durchgeführt wie bei dem Verfahren gemäß den Fig. 1 und 2. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen bei dieser und den nachfolgenden Figuren die gleichen Elemente wie in den Fig. 1 und 2. Die Wandlerelemente sind in den Fig. 4 bis 6 nicht dargestellt.

Allerdings werden bei der Variante der Fig. 4 die Vertiefungen für die Justagemarken tiefer geätzt als die Vertiefungen für die großflächigen Hohlräume (10). Dies erfordert zusätzliche Verfahrensschritte, bei denen die Vertiefungen für die großflächigen Hohlräume (10) mit einer Schutzschicht abgedeckt werden, so daß die Hohlräume (13) für die Justagemarken bis in das Siliziumsubstrat hinein geätzt werden können. Diese Schutzschicht muß nachfolgend wieder entfernt werden. Die dargestellte Variante hat den Vorteil einer besseren Erkennbarkeit der Justagemarken von der

Oberfläche aus.

Fig. 5 zeigt das Ergebnis einer weiteren Abwandlung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Dabei werden vor dem Verbinden der beiden Wafer die als Justagemarken vorgesehenen Vertiefungen (1) mit einem Metall (14) aufgefüllt. Dies bewirkt eine Steigerung des Kontrastes, wie bereits weiter oben ausgeführt.

Fig. 6 zeigt das Ergebnis einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens. Hier wird die Erkennbarkeit der Justagestrukturen durch eine Ionenimplantation (15) in die Silizium-Schicht (4) verbessert. Die Vertiefungen (1) im Oxid (3) dienen dabei als Maske während der Implantation.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Justagestrukturen in Halbleitersubstraten bei der Herstellung von Bauelementen, mit den Schritten:

- Bereitstellen eines ersten Substrates (4, 5, 6), auf dem eine erste Schicht (3) ausgebildet ist;
- Strukturieren der ersten Schicht (3) zur Bildung von ersten Bereichen (2), die für die Funktion der Bauelemente erforderlich sind;
- Verbinden des ersten Substrates (4, 5, 6) mit einem zweiten Substrat (12), so daß die erste Schicht (3) zwischen den beiden Substraten liegt; und
- Dünnen des ersten oder des zweiten Substrates bis auf eine Restdicke;

wobei die Justagestrukturen vor dem Verbinden des ersten Substrates (4, 5, 6) mit dem zweiten Substrat (12) als zweite Bereiche (1) gebildet werden, die die erste Schicht (3), nicht jedoch das gegebenenfalls gedünnte erste Substrat (4) vollständig durchdringen, und die einen Brechungsindex aufweisen, der sich vom Brechungsindex angrenzender Bereiche unterscheidet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Bereiche (1) als Vertiefungen in der ersten Schicht (3) erzeugt werden, die nach dem Verbinden der beiden Substrate Hohlräume (8, 13) bilden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Bereiche (1) als Vertiefungen in der ersten Schicht (3) erzeugt werden, die vor dem Verbinden der beiden Substrate in einem weiteren Schritt mit einem Material (14) aufgefüllt werden, das einen größeren Unterschied im Brechungsindex zu den angrenzenden Bereichen aufweist als Luft.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Bereiche (2) als Vertiefungen erzeugt werden, die nach dem Verbinden der beiden Substrate einen Hohlraum (10) bilden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefungen der zweiten Bereiche (1) im gleichen Verfahrensschritt wie die Vertiefungen der ersten Bereiche (2) gebildet werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefungen der zweiten Bereiche (1) bis in das erste Substrat (4, 5, 6) hinein erzeugt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefungen der zweiten Bereiche (1) bis zu einer Tiefe in das erste Substrat (4, 5, 6) hinein erzeugt werden, die im Substrat einer optischen Wellenlänge von einer halben Wellenlänge des für die Erkennung der Justagestrukturen einzusetzenden monochromatischen Lichtes entspricht.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, ge-



11

kennzeichnet durch folgende weiteren Schritt vor dem Verbinden der beiden Substrate: Ionenimplantation (15) in das erste Substrat (4, 5, 6) am Ort der Vertiefungen der zweiten Bereiche (1) bis in eine Tiefe, die im Substrat einer optischen Weglänge von einer halben Wellenlänge des für die Erkennung der Justagestrukturen einzusetzenden monochromatischen Lichtes entspricht, wobei die strukturierte erste Schicht (3) als Maske für die Ionenimplantation dient.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß flächige Justagestrukturen durch nebeneinander liegende rillenförmige Vertiefungen gebildet werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht (3) eine Oxid- und/oder Nitridschicht ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und/oder zweite Substrat ein Silizium-Substrat ist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und/oder zweite Substrat ein SOI-Substrat ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Dünnen mittels Schleifen, Polieren, CMP oder Ätzen erfolgt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

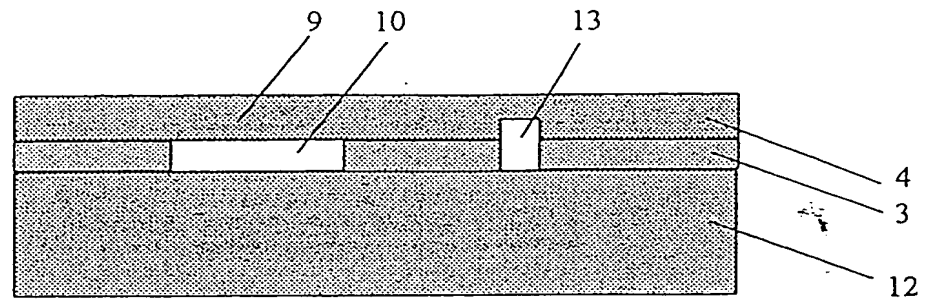
60

65

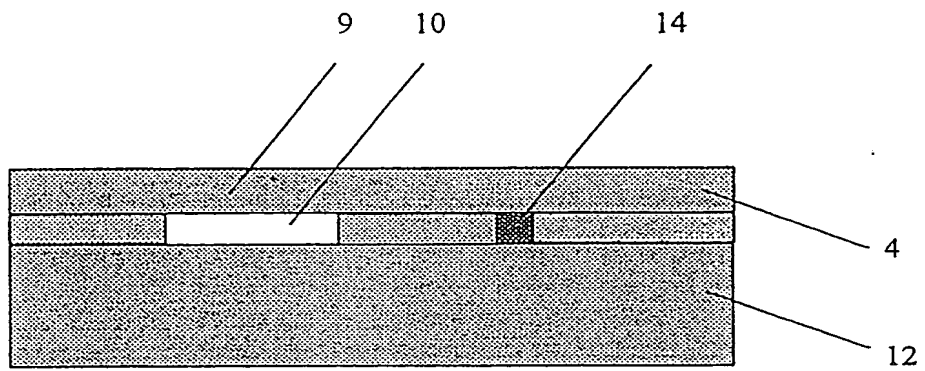


11

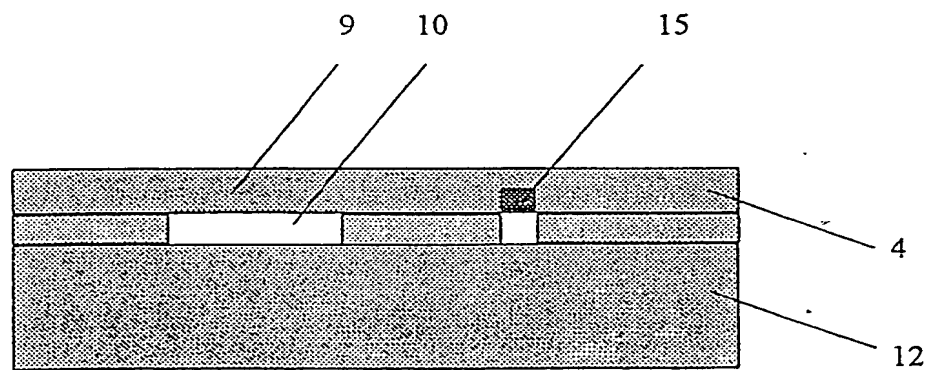
Figur 4



Figur 5

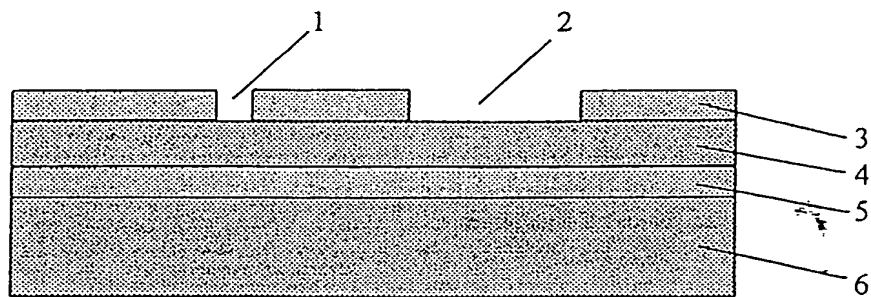


Figur 6

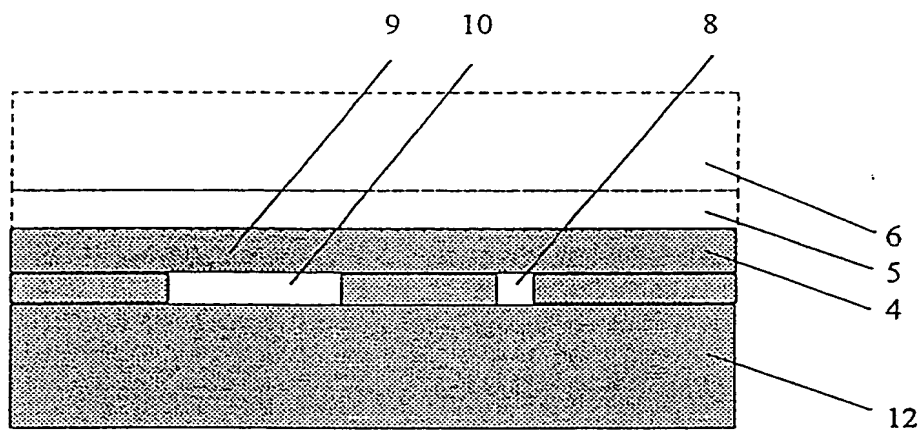




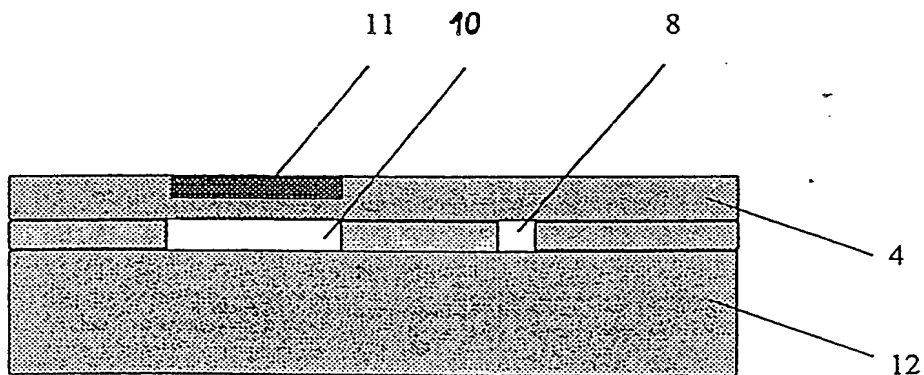
Figur 1



Figur 2



Figur 3





1994

1